

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Г. М. Цибульский
подпись

«___» _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 — Информационные системы и технологии

Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых
снимках

Руководитель	_____	проф. каф. СИИ, канд. техн. Ю. А. Маглинец
	подпись, дата	наук, доцент
Выпускник	_____	А. В. Удод
	подпись, дата	
Нормоконтролер	_____	Ю. А. Маглинец
	подпись, дата	

Красноярск 2018

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме
«Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых
снимках»

Нормоконтролер

подпись, дата

Ю. А. Маглинец

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Г. М. Цибульский
подпись

«___» _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
В форме бакалаврской работы

Студенту Удоду Антону Владимировичу

Группа КИ14-11Б, направление 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиль 09.03.02.04 «Информационные системы и технологии в медиаиндустрии»

Тема выпускной квалификационной работы «Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых снимках»

Утверждена приказом по университету № 4533 от 29.03.2018.

Руководитель ВКР Маглинец Ю. А. профессор, кандидат технических наук, доцент кафедры Систем искусственного интеллекта ИКИТ СФУ.

Исходные данные для ВКР: задание на бакалаврскую работу, полученное в рамках научно-учебной лаборатории «Информационной поддержки космического мониторинга» института космических и информационных технологий.

Перечень разделов ВКР: введение; глава 1. Теоретическая часть; вывод по главе 1; глава 2. Практическая часть; вывод к главе 2; заключение; список использованных источников; приложение А (отчет системы «Антиплагиат»); приложение Б (плакаты презентации).

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

подпись Ю. А. Маглинец

подпись А. В. Удод

«__» _____ 2018 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

Отзыв

о дипломной работе на тему «Программный модуль для автоматического
поиска строений на спутниковых снимках»,
выполненной студентом гр. КИ14-11Б
Удодом Антоном Владимировичем

Цель и задачи, поставленные в рамках выпускной квалификационной работы (ВКР) «Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых снимках» А. В. Удодом выполнены в полной мере.

В процессе выполнения ВКР автором были приобретены и использованы знания в области компьютерного зрения. Был выполнен обзор и анализ подходов к решению задач поиска строений на спутниковых снимках в специфике поставленной задачи.

Был осуществлен сравнительный анализ алгоритмов решения указанной задачи и выбор алгоритма-прототипа. Данный алгоритм был программно реализован, протестирован, после чего был подвергнут модификации, что позволило повысить качество распознавания.

Планируется развитие полученного алгоритма в рамках магистерской работы.

Выводы по главам обоснованы и аргументированы. Пояснительная записка соответствует требованиям, замечания устранены. Это позволяет считать, что ВКР заслуживает оценки «Отлично», а ее автор Антон Владимирович Удод заслуживает присвоения квалификации «бакалавр» по направлению 09.03.02 «Информационные системы и технологии» (профилю подготовки 09.03.02.04 «Информационные системы и технологии в медиаиндустрии»)

Руководитель ВКР

проф., канд. техн. наук, доцент каф. СИИ
ИКИТ СФУ

подпись, дата

Ю. А. Маглинец

График

выполнения выпускной квалификационной работы студентом направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиля 09.03.02.04 «Информационные системы и технологии в медиаиндустрии» приведен в таблице 1.

Таблица 1 — График выполнения этапов ВКР

Наименование этапа	Срок выполнения этапа	Результат выполнения этапа	Примечание руководителя (отметка о выполнении этапа)
Ознакомление с целью и задачами работы	29.03–2.04	Краткое эссе по теме ВКР	Выполнено
Уточнение и обоснование актуальности цели и задач ВКР	02.04–05.04	Окончательная формулировка цели и задач ВКР	Выполнено
Анализ литературных источников	05.04–12.04	Список источников литературы	Выполнено
Подбор метода решения задачи	12.04–15.04	Реферат о проблемно-предметной области	Выполнено
Подбор алгоритма решения задачи	15.04–21.04	Доклад по задаче ВКР	Выполнено
Доработка алгоритма	21.04–2.05	Доклад по задаче ВКР	Выполнено
Программная реализация алгоритма	02.05–07.05	Доклад по задаче ВКР	Выполнено
Апробация алгоритма	07.05–15.05	Доклад по задаче ВКР	Выполнено
Подготовка доклада и презентации по теме ВКР	15.05–21.05	Доклад и презентация по теме ВКР	Выполнено
Компоновка отчета по результатам решения задач ВКР	21.05–3.05	Доклад и презентация по теме ВКР	Выполнено
Первичный нормоконтроль	05.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено
Предварительная защита результатов	07.06	Доклад и презентация по проделанной работе	Выполнено
Вторичный нормоконтроль	10.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено

Окончание таблицы 1

Наименование этапа	Срок выполнения этапа	Результат выполнения этапа	Примечание руководителя (отметка о выполнении этапа)
Итоговый нормоконтроль	16.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено
Защита ВКР	22.06	Доклад и презентация по результатам бакалаврской работы	

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

подпись

Ю. А. Маглинец

подпись

А. В. Удод

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 Анализ задачи и методов ее решения.....	6
1.1 Анализ постановки задачи	6
1.2 Обзор существующих походов решения задачи	10
1.3 Разбор алгоритма	19
1.4 Выводы по главе 1	24
Глава 2 Программная реализация алгоритма	26
2.1 Модификация алгоритма.....	26
2.2 Выбор библиотеки компьютерного зрения.....	29
2.3 Программная реализация алгоритма.....	31
2.4 Результаты апробации алгоритма	42
2.5 Выводы по главе 2	44
Заключение	45
Список использованных сокращений	47
Списко использованных источников	48
Приложение А Отчет системы «Антиплагиат»	51
Приложение Б Плакаты презентации.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Процесс извлечения абстрактной информации из больших изображений, таких, как спутниковые снимки, требует привлечения квалифицированного человеческого труда для решения простых и однотипных задач. На решение задач, связанных со сбором информации о застройке сильное влияние оказывает человеческий фактор, обычная невнимательность и количество времени, необходимое на обработку большого количества объектов. В то же время, качество снимков на текущий момент уже позволяет производить их автоматический и полуавтоматический анализ [1].

Задача автоматизации поиска строений на космических снимках актуальна в связи с решением задач, возникающих в ряде практических областей, таких как мониторинг динамики роста населенных пунктов, построении карт местности, локализация незаконно построенных объектов т. п. В системе агромониторинга ИКИТ СФУ необходимость решения данной задачи возникла вследствие запроса Министерства сельского хозяйства и торговли Красноярского края на решение задачи обнаружения случаев нецелевого использования земель сельскохозяйственного назначения, в том числе — отслеживания несанкционированной застройки методами дистанционного зондирования Земли.

Для решения подобных задач необходимо разработать алгоритм, способный найти относительное положение строения на космическом снимке, поскольку они уже имеют привязку к координатам. Строения на космических снимках проявляются как области пикселей, обладающие несколькими признаками:

- линейная форма области-строения;
- наличие области (областей) затемнения, прилегающей к оцениваемой области и являющей собой отбрасываемую строением тень;
- относительный размер двух предыдущих признаков, говорящий о существенности площади и высоты оцениваемых объектов.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка программного модуля для автоматической локализации областей на фрагментах спутниковых снимков, содержащих информацию о строениях.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ постановки задачи и методов ее решения;
- подбор алгоритма выделения строений на изображениях;
- программная реализация;
- апробация и сбор экспериментальных данных.

С целью обеспечения совместимости с существующим программным обеспечением системы агромониторинга ИКИТ СФУ, разработка модуля ведется на языке программирования Python с использованием соответствующей реализации библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Это позволит расширить возможности указанной системы.

Глава 1 Анализ задачи и методов ее решения

1.1 Анализ постановки задачи

Основной задачей программного модуля, разработка и внедрение которого рассматривается для Системы агромониторинга ИКИТ СФУ, является обнаружение, локализация и вывод информации о незаконной застройке на землях сельскохозяйственного назначения. Дополнительной задачей данного модуля является мониторинг динамики застройки.

Спецификой основной задачи является разреженность непосредственной застройки и преобладание растительного фона. В качестве исходных данных для программного модуля предполагается использовать космические снимки высокого разрешения разных космических программ.

В рамках данной выпускной квалификационной работы было решено найти, доработать и реализовать алгоритм для сегментации областей, содержащих информацию о строениях, наиболее подходящий для решения задачи в условиях данной специфики. Сегментация производится с целью уменьшения области обработки для более ресурсоемких алгоритмов. В целях автоматизации к реализации предпочтительны алгоритмы, показывающие потенциал к универсальности работы со снимками из разных источников и разного разрешения. В качестве исходных данных в работе используются набор фрагментов спутниковых снимков, соответствующих специфике решаемой задачи.

Для достижения цели выпускной квалификационной работы необходимо разобраться с понятием «строение». Проанализировав фрагмент спутникового снимка, представленный на рисунке 1, можно предположить, что в общем случае интересующие нас области пикселей имеют несколько признаков: форма области состоит из малого количества ребер, к области примыкает одна или более достаточно больших (с площадью, превышающей пороговое значение) областей пикселей с низким значением функции яркости – «теней» и

сама область имеет относительно большую площадь, область строения зачастую имеет высокое значение функции яркости относительно фона, но данное утверждение действительно в ограниченном количестве случаев (в зависимости от используемых материалов покрытия крыши).



Рисунок 1 — Пример фрагмента спутникового снимка

Так же на сцене присутствуют объекты, обладающие одним или несколькими из перечисленных признаков, что может затруднить работу и вызывать затруднения при последующей обработке и анализе изображения. Так же к возможным искажениям результатов может привести несколько факторов:

- примыкание или сложная форма строений;
- разрешающая способность исходных изображений;
- наличие искажений в исходных изображениях.

Выделение каждого из признаков можно представить в виде ряд задач, решение которых разнится по сложности и затрачиваемых машинных ресурсах и относится к анализу различных типов информации:

- контекстной;
- структурной;
- спектральной.

К контекстной информации можно отнести техническую информацию о самом снимке: время съемки, разрешающая способность, пространственные характеристики и т. п. Данная информация необходима для определения максимальной и минимальной площади искомых областей, направления падения тени.

К структурной информации можно отнести информацию о расположении и форме границ областей, относительное расположение самих областей пикселей.

К спектральной информации относится информация о распределении значений интенсивности для пикселей каждого из каналов спектрального разбиения.

Определение порога площадей «строений» и «теней» зависит от контекстной информации об изображении: его пространственного разрешения, минимальной и максимальной границ площади области для искомых областей. Информация о времени съемки так же может увеличить точность определения границ для областей «теней».

Нахождение «теней» можно отнести к анализу спектральной, структурной и контекстной информации об изображении: данную задачу можно решить при помощи анализа и обработки распределения значений функции яркости фрагмента, времени съемки и ориентации снимка в пространстве, примыкание области к области «строения».

Наиболее сложной задачей является нахождение точных границ областей «строения», так как строения зачастую не имеют единой формы, ориентации в

пространстве. Решение данной задачи можно отнести к анализу структурной и спектральной информации: анализ формы и цвета области «строения».

Проанализировав фрагменты спутникового снимка, соответствующих специфике решаемой задачи, пример которых представлен на рисунке 2, можно так же предположить, что спектральные характеристики области «строения» отличны от характеристик преобладающего зеленого растительного «фона».



Рисунок 2 — Пример фрагмента спутникового снимка

В результате анализа задачи можно предложить логическую формулировку данной задачи (1):

$$R = A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}, \quad (1)$$

где R – заключение о принадлежности области к классу «строение»;

A – линейная форма области;

B – прилегание к области-тени;

C – значение площади области в определенных пределах;

D – значение спектральных характеристик в пределах, соответствующему растительности.

Решение данной задачи полностью с удовлетворительной точностью не представляется возможным, поэтому поставлена задача сегментации областей, потенциально содержащих информацию о строениях для применения в последующем более точных алгоритмов их обнаружения.

1.2 Обзор существующих подходов решения задачи

На данный момент существует множество подходов к решению задачи обнаружения строений на аэрофотоснимках, снимках, полученных с помощью авиационных (на основе БПЛА), и космических съемочных систем [1-7].

Наиболее точные результаты позволяет получить подход на основе использования данных, полученных специальными методами светового обнаружения и определения дальности системами типа LiDAR [2-3]. Использование данных методов позволяет построить трехмерную карту исследуемой местности с высокой точностью, но их применение в рамках поставленной задачи ограничено использованием специальных данных, недоступных в нужных объемах.

Подходы, использующие за основу построение ЦММ (Цифровой Модели Местности) и ЦМР (Цифровой Модели Рельефа) на основе анализа нескольких снимков, полученных одновременно под разными углами съемки, так же показывают высокую точность и позволяют восстановить трехмерную реконструкцию объектов. Использование подобных подходов в рамках решения задачи отслеживания незаконной застройки нецелесообразно из-за необходимости обработки территорий большой площади, которая потребовала бы привлечения большого количества материального и человеческого ресурса. Так же подобные подходы могут опираться на обнаружение линейных черт на нескольких изображениях, сопоставлении полученных результатов с последующим построением трехмерной модели строения.

Подход к обнаружению строений на одинарном изображении предполагает использование структурной, контекстной и спектральной

информации об изображении [4-7]. В данном подходе для обнаружения строений применяются преимущественно алгоритмы обнаружения контуров, в основном различные модификации фильтров Кэнни [8] и метода Хафа [9]. Помимо обнаружения контуров используется анализ спектральной информации, нахождение и анализ теней. Подобные алгоритмы способны давать высокую точность обнаружения, большую скорость работы и меньшие затраты вычислительных ресурсов, однако в любом случае уступают методам, опирающимся на использование нескольких изображений или специальной информации.

Последний подход является наиболее подходящим для решения задач мониторинга несанкционированной застройки в рамках доступных в Системе агромониторинга ИКИТ СФУ ресурсов и специфики решаемой задачи.

Первый алгоритм [4], представленный турецкими авторами Саларом Гаффарианом и Саманом Гаффарианом, предполагает автоматическое обнаружение строений на фрагментах космических снимков высокого разрешения, полученных посредством сервиса Google Earth.

Основным подходом является обнаружение областей, относящихся к «строениям» посредством выделения теней посредством преобразования изображения из цветовой модели RGB в LAB, последующего выделения канала освещенности (lightness). Канал освещенности подвергается двойной бинаризации методом Оцу [10], вследствие чего выделяются области пикселей с наименьшим значением яркости. Полученные таким образом тени подвергаются морфологической обработке с целью из полученной сегментации областей, которые можно отнести к шумам или теням меньших нежели тень от строения.

После обнаружения теней на основе информации о направлении падения солнечного света и формы тени выделяются области пикселей для формирования обучающей выборки для области-строения. Пример формирования обучающих зон приведен на рисунке 3 (области обучающей

выборки выделены белым). На основе этой выборки формируется классификатор, с помощью которого находятся пиксели, так же принадлежащие данной области.



Рисунок 3 — Пример выделения обучающей выборки

После сбора обучающих выборок и удаления шумов с помощью порога отклонения, минимальные и максимальные значения каждой зоны интереса рассчитываются для определения области конкретного строения. Следовательно, все пиксели изображения, классифицированные с учетом этих порогов, являются пикселями, находящимися внутри областей, отражающих строения.

Полученные области на бинарном изображении обозначают строения, но также имеется часть этих областей можно отнести к ложному срабатыванию. Чтобы понизить процент ложно определенных пикселей и убрать шумы применяются операции морфологической обработки, такие как открытие и закрытие [11]. Несмотря на заполнение пробелов морфологическими операциями, видно, что они неэффективны при заполнении больших отверстий. Поэтому также используется морфологическая операция заполнения, чтобы преодолеть эту проблему при последующей обработке результатов.

Точность данного алгоритма на представленной выборке составляет 88 %. К перспективам доработки данного алгоритма авторы относят использование инфракрасного спектра для повышения точности выделения теней строений.

Потенциальное использование данного алгоритма в Системе агромониторинга ИКИТ СФУ предполагает анализ спутниковых снимков высокого разрешения. Так же для полной автоматизации необходима информация о времени съемки снимка для расчета угла падения солнечного света. К преимуществам алгоритма можно отнести использование цветовой модели RGB, что предоставляет возможность использовать его для снимков из различных источников. К недостаткам можно отнести чувствительность к разрешению снимка, обусловленная необходимостью создания репрезентативной обучающей выборки. Область, воссозданная при помощи данного классификатора, зачастую далека от изначальной.

Алгоритм, представленный в статье [5] Сяоинг Цзинь и Курт Х. Дэвис представляют метод обнаружения строений на четырехканальных снимках разрешением 1 м в городской застройке. Обнаружение строений производится с использованием структурной, контекстной и спектральной информации.

Основой для обнаружения служит построение дифференциального морфологического профиля изображения при помощи выделения и морфологической обработки контуров. На основе данного анализа производится выделения областей согласно нескольким гипотезам: крупные области, ширина которых находится в пределах от 5 до 50 м и длина от 10 до 100 м, принимаются как строения. Области с низким значением яркости принимаются как тени. Так же производится пороговая бинаризация с целью выделения ярких областей строений и восстановления ярких поверхностей. После выделения всех признаков проводится логическая обработка результатов.

После проверки форм выделенных областей было выявлено, что некоторые парковочные места также имеют форму, схожую со строениями. Поэтому для тех областей, которые входят в заданные рамки, используется контекстуальная информация для дальнейшей проверки потенциальной области-строения, поскольку строения будут отбрасывать тени на земле, а

стоянки и подобные объекты — нет. Положение теней по отношению к зданиям известно априори на основе отношения спутника к азимуту и высоте Солнца. В данной реализации, если темная область (тень) была обнаружена на «теновой» стороне подключенного компонента, этот компонент будет окончательно подтвержден как строение.

Результатом работы алгоритма является выделение 72,7 % площади строений с общим качеством работы алгоритма 58,8 %. Перспективой развития данного алгоритма авторы отмечают расширения алгоритма для обнаружения крыш строений с другими покровными материалами и использование большего количества данных для повышения качества распознавания.

Применение данного алгоритма в рамках решения задачи выпускной квалификационной работы является избыточным, так как сам алгоритм разрабатывался для обнаружения строений в условиях городской застройки. Так же работа непосредственно с анализом контуров может вызвать затруднения при использовании снимков более низкого разрешения и использовании других источников данных.

Алгоритм, представленный в статье [6] за авторством Али Озгун Ок предполагает выделение областей, принадлежащих строениям на снимках сверхвысокого разрешения. Предложенное решение состоит из трех основных стадий. Первая стадия предполагает выделение информации о строениях на основании доказательного выделения теней с учетом неровностей ландшафта. Отношение между областями теней выявляются на основании информации о направлении освещения. После этого каждая область тени обрабатывается отдельно, и идентифицируются начальные области построения итерационных двухзначных графов.

На второй стадии происходит автоматическое отнесение области к одному из четырех классов: «строение», «тень», «растительность» и «неопределенное». На этом этапе ранее помеченные области строений, а также теней и областей растительности участвуют в оптимизации с четырьмя

метками, выполняемой по всей площади изображения, для достижения результатов неконтролируемой классификации.

Несмотря на то, что оптимизация с четырьмя классами идентифицирует и правильно маркирует большинство областей-строений, некоторые области могут по-прежнему быть неправильно помечены как строения из-за связанных с ними спектральных сходств. Для решения этой проблемы был предложен подход к теневой проверке. Во время проверки извлекаются области, принадлежащие к классу теней, и соотносятся ранее созданным вероятностным ландшафтом. Для регионов, которые не могут быть подтверждены, используется теневая информация, которая может проявляться после оптимизации с четырьмя метками, а отклоненные регионы дополнительно проверяются на новые теневые доказательства.

Конечная стадия направлена на то, чтобы распространить эту классификацию на пять классов, в которых участвует класс «дорога». С этой целью извлекаются регионы, которые могут принадлежать сегментам дороги, и полученная информация используется для конечной оптимизации графика. Этот этап в определяет области, принадлежащие строениям и дорогам. Результат работы классификации приведен на рисунке 4, белым цветом выделены области строений, красным — дороги, зеленым — растительность, черным — тени, серым — неопределенное.



Рисунок 4 — Результат работы классификатора

Апробация алгоритма производилась на фрагментах космических снимков с разрешением 50 см и четырехканальной модели представления изображения (RGB и NIR). Точность работы алгоритма на данном наборе данных составила 86,1 %.

К достоинствам алгоритма можно отнести высокую точность в покрытии областей-строений, выделение дорог.

Проблемы использования данного алгоритма в Системе агромониторинга ИКИТ СФУ схожи с предыдущими алгоритмами [4,5]. В первую очередь, данный алгоритм чувствителен к разрешению используемых космических снимков, использует дополнительную информацию о направлении падения солнечного света. Разработка данных алгоритмов велась для условий городской застройки.

В статье [5] за авторством Шраддха Сингхал и Садха Радхика представлен алгоритм обнаружения строений на основании гипотезы о том, что часть областей-строений можно отделить от фона используя информацию о спектральных характеристиках областей.

Основной идеей данного алгоритма является уменьшение времени с сохранением приемлемых результатов благодаря использованию информации о цвете областей пикселей. Данный алгоритм базируется на гипотезе о том, что крыши строений зачастую принадлежат либо к красному, либо к синему спектрам, а фон — преимущественно к зеленому.

Первым этапом работы алгоритма является разделение изображения на цветовые каналы. Значения пикселей зеленого канала усиливается, после чего методом пороговой бинаризации методом Оцу [10] формируется маска, отсекающая наиболее сильные значения зеленого цвета.

Инварианты цвета помогают извлекать цветовые свойства объектов, не подвергая их воздействию условий изображения. В алгоритме извлекается информация о цвете на космоснимке, используя специальный индекс цвета, основанный на предыдущем исследованиях авторов.

Следующим этапом является расчет значений цветовых инвариантов по предложенным формулам для синего, красного и близкого к зеленому спектров. Для этих спектров так же формируются маски для последующей сегментации.

При помощи логических операций отсекаются сильные значения для каждого из каналов. Значения максимумов для красного и синего каналов принимаются как области строений. Для оставшейся сцены находятся контура при помощи оператора Кэнни. На основе информации о контурах отсекаются значения, принадлежащие дорогам. К оставшемуся изображению прибавляются значения максимумов красного и синего спектров. Результирующее изображение принимается как выделенные крыши домов.

Достоинствами данного алгоритма являются потенциал к высокой скорости обработки изображения и неприхотливости к обрабатываемой информации.

К недостаткам можно отнести использование обнаружения границ для отсекания дорог, что требует высокого качества снимков для корректной работы и усложняет работу алгоритма с различными источниками.

Данный подход может быть эффективен в рамках специфики решаемой задачи обнаружения незаконной застройки на землях сельскохозяйственного назначения за счет анализа и удаления зеленого фона. Так же подобный алгоритм имеет потенциал к универсальности в плане обработки снимков из разных источников. Так же преимуществом в рамках бакалаврской работы может быть относительная простота реализации алгоритма. Недостатком данного подхода является предоставления итоговой информации в виде бинарной маски.

В итоге, из представленных общих подходов к решению задачи обнаружения строений на спутниковых снимках в рамках задачи обнаружения незаконной застройки на землях сельскохозяйственного назначения наиболее подходящим является использование структурной, контекстной и спектральной информации об одиночных космических снимках. Данный выбор обусловлен

тем, что для решения данной задачи требуется анализ территорий большой площади, занятых преимущественно растительностью. Использование для этих целей специальной информации, такой, как трехмерная карта местности, построенная системами LiDAR является нецелесообразным из-за стоимости получения самих данных и необходимых для ее обработки ресурсов. Использование ЦММ и ЦМР также требует привлечения большого количества ресурсов для получения и обработки информации о исследуемой территории. Данные подходы целесообразно использовать на заранее определенных областях интереса. Использование же одиночных спутниковых снимков хоть и является наименее точным из представленных подходов, но позволяет охватить наибольшую площадь территории при адекватных затратах ресурсов. Более того, с каждым годом появляется свободный доступ к космическим снимкам все более и более лучшего качества.

Из рассмотренных алгоритмов обнаружения строений на космических снимках наиболее подходящим является алгоритм, представленный Шраддхем Сингхалом и Садхом Радхиком, основывающийся преимущественно на анализе спектральной информации об изображении. Выбор алгоритма обусловлен спецификой и условиями решения задачи. Отделение зеленого фона в условиях сельской местности может очень сильно сократить область поиска для более сложных алгоритмов, использующих контурный анализ или построение классификаторов. Более того, использование подобного алгоритма может позволить использовать при решении задач различные источники данных вне зависимости от предоставляемых снимком каналов и использование в решении задачи мониторинга динамики застройки данных, полученных в ходе старых космических программ.

Данный алгоритм может быть дополнен анализом дополнительной информации, например, об прилегании областей затенения, фильтрации областей по площади и пр.

Также реализация данного алгоритма в рамках бакалаврской выпускной квалификационной работы представляется наиболее реалистичной.

1.3 Разбор алгоритма

В ходе обзора существующих вариантов решения задачи для реализации был выбран алгоритм, представленный в статье [5] за авторством Шраддха Сингхала и Садха Радхика.

Используемый в этой статье подход к обнаружению строений представляет собой извлечение информации о цвете из космического снимка преимущественно при помощи специальных индексов цвета. После расчета индексов на их основании строится пороговая бинаризация для каждого из каналов цветовой модели RGB.

Области, соответствующие строениям с синими и красными крышами сегментируются с помощью соответствующих бинарных масок. После сегментации областей, относящихся к строениям с красными и синими крышами и их удаления из сцены так же методом маскирования удаляются пиксели, соответствующие зеленому растительному «фону». На оставшейся сцене крыши других цветов сегментируются методом обнаружения и анализа границ. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 5.

Поиск объектов на изображении с использованием преимущественно информации о цвете имеет ряд проблем [12], потенциальным решением которых является предобработка изображения с целью минимизации влияния факторов на точность работы алгоритма. Так же рассмотрена возможность использования цветowych моделей, хранящих информацию о цвете пикселя в отдельном канале.



Рисунок 5 — Блок-схема алгоритма

Первым этапом в работе данного алгоритма является выделение нахождения и удаление пикселей, соответствующих областям зеленой растительности. Идентификация данных пикселей происходит посредством применения пороговой бинаризации методом Оцу [10]. Прежде всего необходим максимизировать значения интенсивности зеленого канала пикселей растительности. Для этого используется выражение (2), предложенное в данной статье.

$$\varphi_G = \frac{G}{R + G + B}, \quad (2)$$

где φ_G – значение функции усиления для зеленого цвета;

R – значение интенсивности красного канала;

G – значение интенсивности зеленого канала;

B – значение интенсивности синего канала.

После пересчета значений интенсивности зеленого канала пикселей производится пороговая бинаризация методом Оцу [8] для создания маски, отсекающей пиксели зеленого цвета.

Вторым этапом работы алгоритма является нахождение красных и синих крыш. Вычисление цветовых инвариантов помогает извлекать цветовые свойства объектов вне зависимости от влияния состояния изображения. Извлечение информации о цвете производится при помощи выражений, сформированных в ходе предыдущих изысканий авторов. После расчета коэффициентов для красного (3) и синего (4) каналов изображения также производится пороговая бинаризация с целью формирования масок, выделяющих сильные значения красного и синего каналов.

$$\varphi_R = \frac{4}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{R - G}{R + G} \right), \quad (3)$$

где φ_R – значение функции инварианта для красного цвета;

R – значение интенсивности красного канала;

G – значение интенсивности зеленого канала;

B – значение интенсивности синего канала.

$$\varphi_B = \frac{4}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{B - G}{B + G} \right), \quad (4)$$

где φ_B – значение функции инварианта для синего цвета;

R – значение интенсивности красного канала;

G – значение интенсивности зеленого канала;

B – значение интенсивности синего канала.

Данные функции применяются к значениям интенсивностей красного и синего каналов, получая на выходе усиление значений интенсивностей в случаях, когда изначальное отношение интенсивностей красного и синего преобладало над зеленым. Пример маски для максимумов синего канала приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 — Пример маски для максимумов синего канала

Третьим этапом работы алгоритма является логическое сложение полученных масок для красного и синего спектров.

Четвертым этапом является удаление из изображения пикселей красного и синего цвета методом маскирования. На результирующей сцене остаются пиксели, близкие к серому или близкому к зеленому цветов.

Пятым этапом работы алгоритма является удаление пикселей близкого к зеленому цветов. Для этого высчитываются значения цветового инварианта для данного значения цвета (5).

$$\varphi_{NG} = \frac{4}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{G - B}{B + G} \right), \quad (5)$$

где φ_{NG} – значение функции инварианта для цветов, близких к зеленому;

R – значение интенсивности красного канала;

G – значение интенсивности зеленого канала;

B – значение интенсивности синего канала.

К полученному распределению так же применяется метод пороговой бинаризации, после чего пиксели близкого к зеленому цвета удаляются из изображения методом маскирования.

Шестым этапом работы алгоритма является выделение контуров для оставшейся сцены. Для этого используется оператор Кэнни [8], так как он дает лучшие результаты по сравнению с другими методами.

После получения границ пикселей производится удаление дорог и нахождение оставшихся областей строений. К полученному таким образом изображению прибавляются сегментированные значения красных и синих крыш.

Результатом работы алгоритма является изображение, на котором остаются области, принадлежащие областям пикселей, принадлежащий строениям. Области, относящиеся к областям, не принадлежащих к строениями закрашиваются черным. Для решения задачи выпускной квалификационной работы требуется провести дополнительную обработку получаемых результатов. Пример результата работы алгоритма на рисунке 7.



Рисунок 7 — Результат работы алгоритма

Авторы утверждают, что точность работы данного алгоритма может достигать 85-90 %.

Проблемой использования преимущественно спектральной информации является понижение точности на некоторых наборах данных. Так же есть возможность ложного определения областей, не являющихся строениями, но также выделяющихся из общей сцены. Для повышения точности обнаружения можно дополнить алгоритм дополнительным анализом яркостной информации для выделения областей затенения и областей с высокой яркостью для дополнительного упрощения задачи сегментации.

1.4 Выводы по главе 1

В данной главе рассмотрена постановка задачи обнаружения незаконной застройки на землях сельскохозяйственного назначения. Выявлены основные признаки, которыми обладают области пикселей на космических снимках, которые относятся к строениям в общем случае: линейная форма, примыкание

области-тени, относительная площадь, занимаемая областью. Так же выделены специфические признаки, характерные для решаемой задачи: отличие цвета области-строения от преимущественно-зеленого цвета фона.

Затем был произведен обзор существующих подходов к решению задачи обнаружения строений на космических и аэрофотоснимках. Данные подходы можно разделить на три группы: подходы, использующие специальную информацию, такую как результаты светового сканирования местности системами LiDAR, использующие несколько снимков для формирования ЦММ и ЦМР, и подходы, использующие одиночные космические снимки. Наиболее подходящими для решения задачи является подход, использующий одиночные космические снимки. Проведен обзор алгоритмов, относящихся к данному подходу и подобран наиболее подходящий для решения задачи обнаружения незаконной застройки на землях сельскохозяйственного назначения и потенциальной задачи мониторинга динамики застройки.

Проведен подробный разбор выбранного алгоритма обнаружения строений на космических снимках, предложены варианты для улучшения алгоритма.

Глава 2 Программная реализация алгоритма

2.1 Модификация алгоритма

В рамках выпускной квалификационной работы было решено модифицировать алгоритм на основе привлечения дополнительной информации об изображении. В качестве такой информации выступают тени объектов и области засветки, исходя из гипотезы о том, что значение спектральной яркости пикселей, соответствующих крышам некоторых строений, существенно выше, чем у соседних объектов.

Для этого после получения изображения оно переводится в панхроматическому виду. Так как распределение яркостей на разных изображениях отличается друг от друга и может иметь смещения по гистограмме производится выравнивание гистограммы. Это позволяет усилить контраст на изображениях, на которых он слабо выражен, работая при этом с исходными данными различных съемочных систем. Пример работы функции выравнивания гистограммы приведен на рисунке 8.

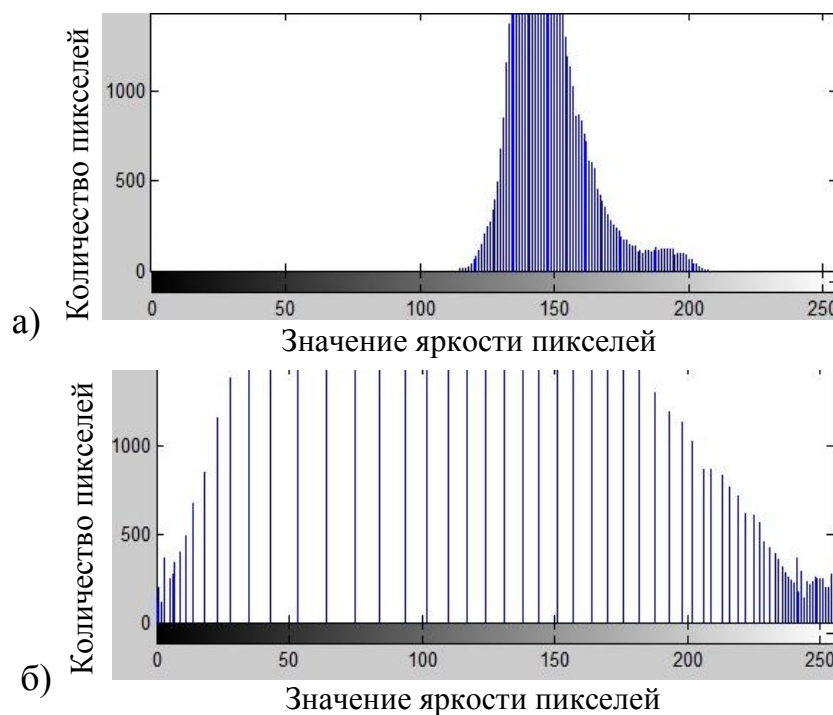


Рисунок 8 — Пример работы выравнивания гистограммы. а) – гистограмма исходного изображения, б) – гистограмма после применения выравнивания

После выравнивания гистограммы применяется пороговая бинаризация для создания масок для выделения пикселей с наиболее высокими и низкими значениями функции яркости на изображении. Затем создания масок производится сегментация областей. Сегменты с светлыми пикселями добавляются к результирующей сегментации алгоритма.

К результирующим сегментам применяются морфологические операции для устранения «шумовых» сегментов, которые появляются вследствие работы со спектральной информацией. Затем вокруг результирующих сегментов описывается выпуклая оболочка для упрощения последующих геометрических проверок.

Сегментированные области теней сравниваются с результатами работы основного алгоритма на прилегание выделенных областей друг к другу. Так как информации о направлении падения света на фрагментах отсутствует, то за положительный результат принимается нахождение сегментов строения и тени близко друг к другу. Также производится фильтрация результирующих сегментов по площади. Пороги площади выбираются в соответствии с исходным разрешением космического снимка. Пороги площади для тени должны выбираться также исходя из времени съемки.

Данные подходы могут повысить точность обнаружения сегментов, принадлежащих строениям, но также могут вызывать ложные срабатывания при отсутствии на изображении строений. Так как в рамках бакалаврской работы рассматривается реализация алгоритма предварительной сегментации для последующей, более точной обработки подобными ошибками можно пренебречь.

Для вывода результатов вокруг сегментов, прошедших фильтрацию по площади и прилеганию тени, формируется и выводится описывающий прямоугольник вокруг области, отображающей строение.

Блок-схема дополненного алгоритма представлена на рисунке 9.

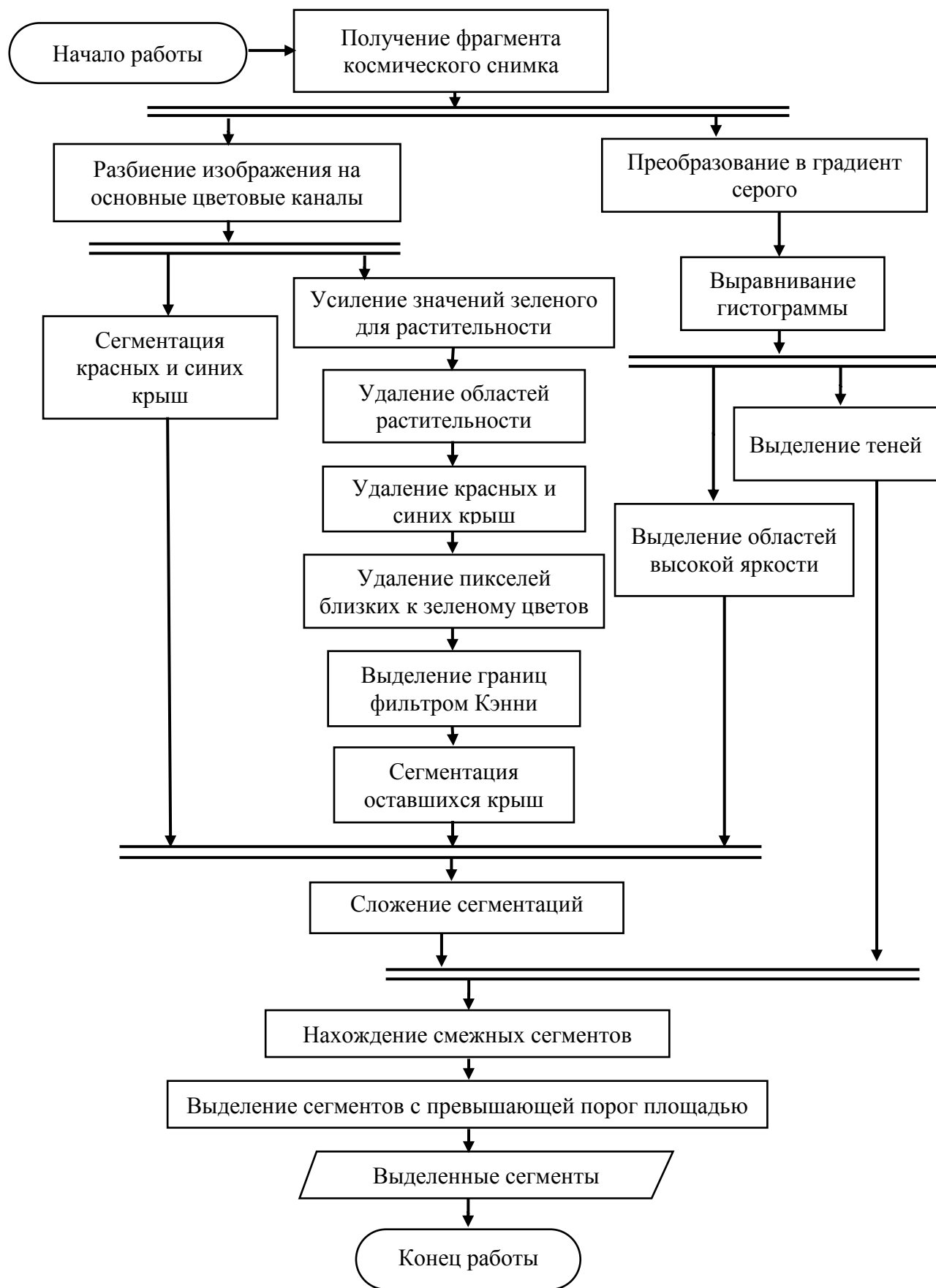


Рисунок 9 — Блок-схема дополненного алгоритма

2.2 Выбор библиотеки компьютерного зрения

Решение задач компьютерного зрения требует применения методов, сложных в реализации и затратных по вычислительным ресурсам [13,14]. Для упрощения реализации программ, использующих данные методы существуют готовые их реализации, собранные в библиотеки.

При выборе библиотеки стоит учитывать необходимость интеграции программного модуля в систему агромониторинга ИКИТ СФУ. Для этого библиотека должна иметь реализацию для языка программирования Python. Также при выборе библиотеки желательно учитывать скорость работы методов, которые она предоставляет и полноту набора методов, необходимых для решения задачи.

В ходе выбора библиотеки был проведен анализ литературных источников [15-16], в рамках которого было проведено сравнение существующих библиотек компьютерного зрения. Наиболее подходящей для решения поставленной в рамках выпускной квалификационной работы задачи и последующего развития программного модуля показал себя библиотека OpenCV.

Первым и наиболее значительным преимуществом библиотеки является ее оптимизация и производительность, которая превышает производительность таких библиотек компьютерного зрения как VXL и LTI. Кроме того, используя дополнительный компонент IPP, можно в разы увеличить производительность библиотеки.

Также значительным преимуществом является большой набор реализованных функций (более 500), решающих разнообразные задачи в сферах обработки изображений, компьютерного зрения и машинного обучения, что также повлияло на решение при выборе библиотеки компьютерного зрения. Кроме того, библиотека имеет открытый исходный код и лицензию, которая позволяет даже с использованием функционала библиотеки выпускать коммерческие продукты.

Еще одним преимуществом, которое учитывалось при выборе библиотеки компьютерного зрения, является наличие русскоязычной документации. Помимо этого, существует множество учебных и научных материалов и книг, в которых описываются функции и методы работы с OpenCV. Также в Интернете можно найти огромное число сообществ, в которых разработчики и пользователи библиотеки делятся опытом и отвечают на вопросы, связанные с библиотекой.

Использование этой библиотеки под ОС Windows 10 требует установки дополнительных пакетов программного обеспечения и создания виртуального окружения.

Первым шагом является установка дистрибутива Python 3 для Windows – Anaconda [17], добавление ее в переменную окружения PATH и назначение ее интерпретатором Python по умолчанию.

Следующим шагом является создание виртуального окружения. Для этого можно воспользоваться консольной командой, исполняемой в командной строке:

```
conda create --name *имя окружения* python=3.6,
```

После создания виртуального окружения активировать его можно следующей консольной командой:

```
activate *имя окружения*
```

Для установки библиотек можно использовать пакетный менеджер pip, поставляемый вместе с дистрибутивом Anaconda. Для разработки программной реализации алгоритма были использованы библиотеки NumPy и OpenCV для языка Python.

Библиотека NumPy предоставляет реализации вычислительных алгоритмов, оптимизированные для работы с многомерными массивами. Ее использование обусловлено работой с изображением как с многомерным массивом значений интенсивностей каналов.

Чтобы установить и использовать библиотеки в рамках виртуального окружения после его активации можно использовать следующую консольную команду:

```
pip install *название библиотеки*
```

После окончания установки можно запускать файлы с исходным кодом для языка Python, использующие методы из установленных библиотек, с помощью консольной команды:

```
python *имя файла*.py,
```

активировав сначала виртуальное окружение. Подключение библиотек к файлу производится с помощью инструкции *import* внутри самого файла.

2.3 Программная реализация алгоритма

Обработка изображения при помощи методов компьютерного зрения для решения поставленной задачи состоит из следующих этапов: предварительная обработка изображения, сегментация [18,19]. Все функции компьютерного зрения, реализованные в библиотеке описаны на официальном сайте [20]. В качестве тестового изображения использовался фрагмент спутникового снимка, приведенный на рисунке 10.



Рисунок 10 — Фрагмент спутникового снимка

Целью первого этапа является приведение изображения состояние, в котором программа сможет находить искомые признаки. В случае данного алгоритма в качестве предварительной обработки применяется перевод изображения из цветовой модели RGB в HSV [21] с целью повышения значений канала насыщенности (saturation). Эта операция производится для улучшения качества определения цвета в ходе последующих обработок.

Полученное изображение переводится обратно в цветовую модель RGB. Результат работы данного этапа представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 — Результат повышения насыщенности изображения

Первым этапом сегментации является создание реплики изображения и перевод его к панхроматическому виду для последующего выделения областей затенения и областей с повышенной яркостью при помощи специальной функции. Так как распределение значений гистограммы яркости может изменяться, к полученному изображению применяется операция выравнивания гистограммы. Данный подход используется с целью единообразия работы с любыми фрагментами космических снимков. Результат выравнивания гистограммы приведен на рисунке 12.



Рисунок 12 — Результат выравнивания гистограммы изображения

После к результирующему изображению применяется пороговая бинаризация с целью выделения областей с наиболее сильными и слабыми значениями функции яркости. В рамках данной программной реализации используется статический порог.

Недостатком данного решения является выделение помимо теней областей темного цвета (например, открытый чернозем) или случайных областей в случае отсутствия на изображении теней.

Доработкой данного подхода может стать использование специального адаптивного порога или вычисление общего порога для всего спутникового снимка. Также вариантом решения данной проблемы может быть анализ и использование мод гистограммы для определения пороговых значений теней.

Опытным путем подобраны пороговые значения, работающие на всем наборе фрагментов спутниковых снимков. Результат работы пороговой бинаризации для определения областей затенения представлен на рисунке 13. Подобным образом сегментируются и области с повышенной яркостью.

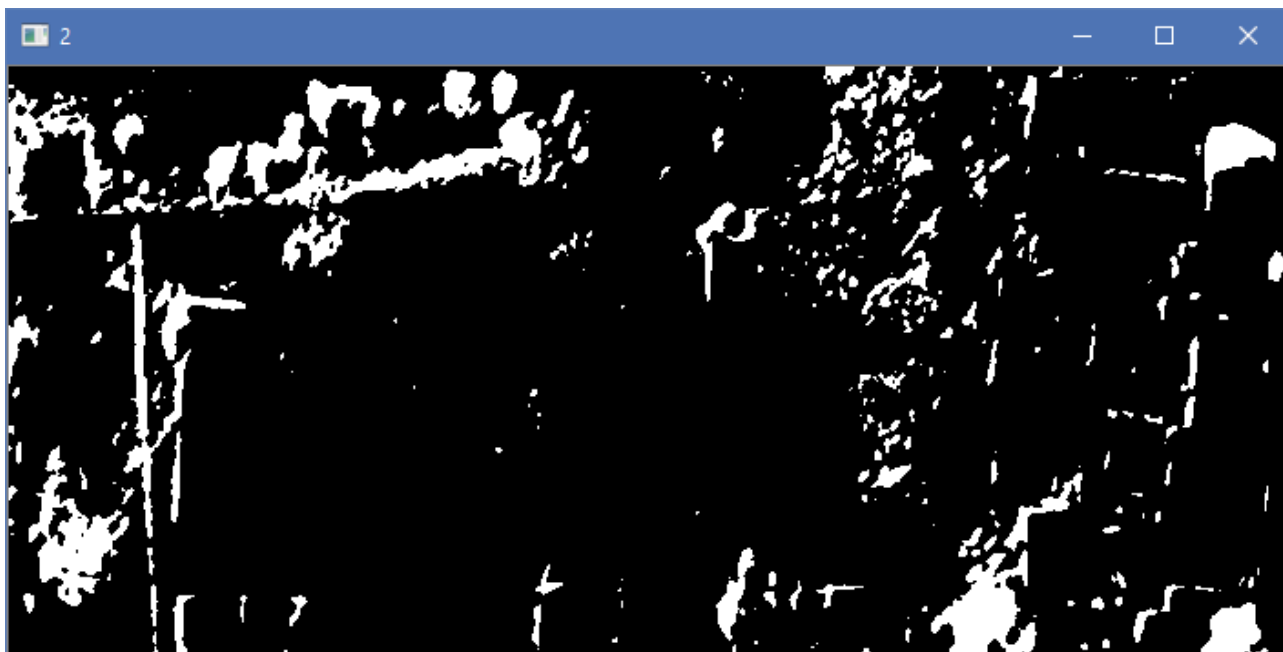


Рисунок 13 — Результат пороговой бинаризации

Следующим этапом сегментации является разбиение на каналы предварительно обработанного изображения, представленного на рисунке 11, и пересчет значений каждого из каналов в соответствии с используемыми формулами цветовых инвариантов (2–4), представленными в авторской статье. Для записи результатов создается реплика обрабатываемого изображения, для которого пересчитываются значения каждого канала для каждого пикселя.

Значения зеленого канала каждого пикселя пересчитываются с целью определения отношения значения зеленого канала к сумме значений каждого из каналов (2).

Использование цветовых инвариантов помогает определить преобладающие каналы для каждого пикселя для последующего расчета масок максимума синего и красного (3–4).

Результатом данного этапа является реплика изображения с пересчитанными значениями каждого цветового канала, отражающая распределение спектральных характеристик изображения. Данная реплика используется для хранения информации о усиленных значениях каждого из каналов. На ней зрительно можно определить распределение спектров

фрагмента спутникового снимка. Результирующая реплика изображения приведена на рисунке 14.

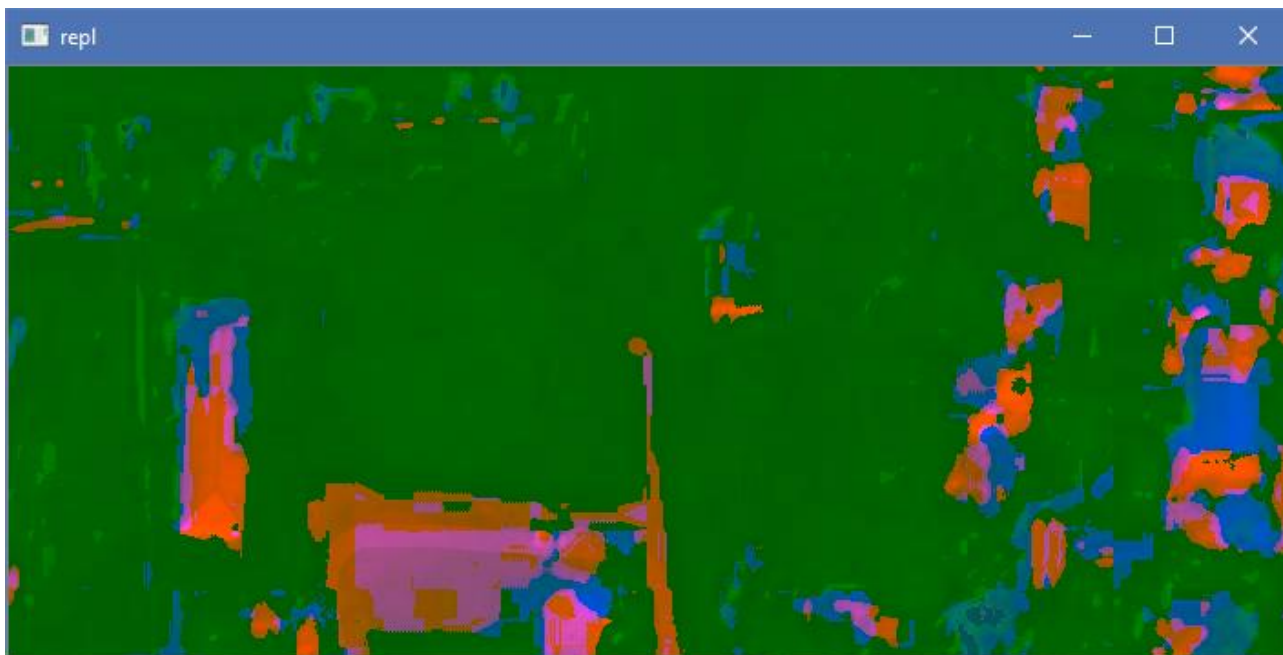


Рисунок 14 — Распределение спектральных характеристик изображения

Подобным образом формируется реплика, хранящая информацию о распределении цветовых инвариантов для близких к зеленому цветов.

Следующим этапом является формирование маскирующих масок для красного, синего и зеленого каналов. Для этого к каналам полученной реплики применяется пороговая бинаризация методом Оцу [10], которая позволяет находить порог бинаризации, позволяющий определить порог допускающий минимальную дисперсию между «полезными» и «фоновыми» пикселями.

Маска, полученная с помощью бинаризации зеленого канала используется для удаления пикселей, принадлежащих к зеленому фону.

Маски, полученные при бинаризации красного и синего каналов используются для выделения максимумов красного и синего спектров, которые, согласно авторской статье, соответствуют красным и синим крышам строений.

Пример сформированной маски для отделения зеленого фона приведен на рисунке 15.



Рисунок 15 — Отсекающая маска для зеленого фона

Так же подобные маски формируются для максимумов синего и красного спектров.

При помощи применения операций математической морфологии формируются маска для выделения областей, соответствующих красным и синим поверхностям крыш строений. Для этого к результаты пороговой бинаризации красного и синего канала попиксельно объединяются, т.е. если на одном из бинарных изображений значение пикселя было равно единице, то значение соответствующего пикселя результирующей маски также будет равно единице.

Далее к полученной маске применяется операция наращивания. Это обусловлено тем, что не все пиксели, соответствующие области строения, могут превысить порог бинаризации. Также это обусловлено устранением помех, вносимых шумами и предобработкой изображения.

Недостатком данного подхода является выделение сельских дорог, которые так же можно отнести к красному спектру. Для устранения подобного допущения можно использовать

На рисунке 16 приведен исходное изображение, маскированное полученной маской



Рисунок 16 — Результат нахождения максимумов синего и красного

Следующим этапом работы алгоритма является отсечение пикселей, принадлежащих фону. Для этого к значению маски для зеленого объединяются с бинарным изображением, полученным в результате нахождения разницы между масками максимумов красного из синего спектра и маски близкого к зеленому спектра. Результатом операции разности между двумя бинарными изображениями является бинарное изображение, на которой белым отмечены пиксели, принадлежащие первому изображению, и не принадлежащие второму.

Применение данной операции обусловлено тем, что при обработке космических снимков значения цвета пикселей, принадлежащих к растительному фону не определяются как однозначно зеленые.

Результатом данного этапа является маска, удаляющая из сцены пиксели, принадлежащие к зеленому фону растительности.

На рисунке 17 приведено исходное изображение, с применением маски для выделения пикселей, спектральные характеристики близки к зеленому, но

которые небыли выделены в результате усиления зеленого спектра растительности. К данной маске также применяется операция наращивания.



Рисунок 17 — Результат выделения пикселей близкого к зеленому спектра

Далее на основании изображения, полученного при преобразовании исходного изображения к панхроматическому виду и применения операции выравнивания гистограммы выделяются контуры областей посредством оператора Кэнни. К полученным контурам применяется операция закрытия для восстановления их целостности.

Выделение контуров в авторском изображении связано с выделением и удалением областей, относящихся к дорогам.

Недостатком применения данной операции является то, что точность получения контуров сильно зависит от качества обрабатываемого изображения. В данной реализации для повышения качества выделения контуров данная операция применяется к изображению с выравненной гистограммой, так как оно имеет большую контрастность, что позволяет выделить большее количество контуров. Результат выделения контуров используется для разделения областей, в которых к строениям прилегают области дорог, спектральные характеристики которых близки к красному.

Результирующее бинарное изображение, отображающее выделенные и закрытые контура приведено на рисунке 18.



Рисунок 18 — Результат выделения контуров.

Следующим этапом является формирование результирующий сегментации. Для этого при помощи полученных масок формируется маска, на которой остаются пиксели, не принадлежащие к зеленому и близкому к зеленому спектрам.

Также для разделения полученных областей удаляются пиксели, принадлежащие контурам и применяется операция закрытия.

Затем данная маска объединяется с маской, полученной в результате применения операции разности к маске максимумов синего и красного и маске близкого к зеленому спектра.

В результате остаются области пикселей, которые принадлежат к предполагаемым строениям и области, принадлежащие к антропогенному фону: машины, протоптанные дороги, некоторые области деревьев и пр.

Исходное изображение, к которому применена результирующая маска представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 — Результат стадии сегментации

Следующей стадией является анализ полученной сегментации. Для производится фильтрация полученных областей по площади. Также производится фильтрация по площади для выделенных областей затенения.

Значение порогов для фильтров площади могут быть рассчитаны на основании информации о разрешении космического снимка и времени съемки или подобран статистически. В данной реализации нахождение порога фильтрации производится эмпирически для каждого набора данных.

Для отфильтрованных областей производится аппроксимация контуров с целью получения и отображения информации о выделенных признаках для последующей обработки. Данная информация хранится в виде массива координат и потенциально может быть преобразована для вывода в векторном виде.

Для отображения полученной информации при помощи функций, предоставляемых библиотекой компьютерного зрения OpenCV, полученные аппроксимированные контуры обрисовываются на исходном изображении.

Результат вывода признаков представлен на рисунке 20, красным обведены области, предположительно содержащие информацию о строениях, лиловым – полученные области-тени.



Рисунок 20 — Изображение с обозначенными признаками

Результирующим этапом работы программы является анализ и вывод информации о найденных областях.

Для повышения точности определения областей, содержащих информацию о строениях полученные, контуры проверяются на пересечение и прилегание. Для этого для каждого из полученных контуров признаков рассчитывается описывающий прямоугольник, после чего они проверяются на наличие пересечений с некоторым допуском.

Результатом данного этапа является массив с координатами описывающих прямоугольников для сегментированных областей, для которых были найдены прилегающие тени. Данный массив так же потенциально может быть представлен в векторном виде.

Для проведения анализа полученных результатов в данные прямоугольники обрисовываются на исходном изображении. Результат работы

алгоритма приведен на рисунке 21, области, выделенные программой, обрисованы синей линией.



Рисунок 21 — Результат работы программной реализации

2.4 Результаты апробации алгоритма

Данная программная реализация алгоритма была испытана на 10 фрагментах космических снимков, соответствующих специфике решаемой задачи. Фрагменты были полученных посредством сервиса Google Earth. Для тестирования использовались фрагменты снимков территории Сухобузимского района Красноярского края. Также использовались фрагменты различных космических снимков, отличающихся по разрешению и времени съемки. Были опробованы снимки сверхвысокого и высокого разрешения.

Общая оценка точности работы алгоритма составила 69,76 % при полноте работы в 79,31 % с учетом подбора значений порога площади и порога тени под каждый космический снимок, фрагменты которого использовались. За положительный ответ принималось нахождение одного или нескольких строений в описывающем прямоугольнике. Данный подход обусловлен тем, что

данный алгоритм слабо подходит для выделения четких границ строений без использования снимков сверхвысокого разрешения.

На точность влияло разрешение космических снимков, то, каким образом они были обработаны, их спектральные характеристики. Наиболее высокую точность данный алгоритм показывает при использовании фрагментов космических снимков высокого разрешения, полученных с использованием спутников WorldView компании DigitalGlobe.

К достоинствам алгоритма можно отнести общую скорость при сохранении достаточно высокого качества обнаружения областей, возможность использовать снимки различных космических программ. Также использование преимущественно спектральной информации хорошо проявляет себя в специфике обнаружения строений на землях сельскохозяйственного назначения из-за преобладания растительного фона.

К недостаткам алгоритма можно отнести довольно большую погрешность формы получаемых областей, ошибочное выделение пикселей, не принадлежащих строениям. Так же алгоритм плохо показывает себя при обнаружении строений с темным и зеленым покрытием крыши.

Перспективой развития данного алгоритма является дополнение алгоритма с целью повышения полноты его работы. Для этого можно использовать методы предобработки изображения с целью улучшения качества информации о спектральных характеристиках фрагмента. Также данный алгоритм можно использовать для предварительного выделения областей интереса для более требовательных алгоритмов.

Повышения точности можно достичь при использовании снимков более высокого разрешения, использования информации о времени съемки. Также перспективным представляется использование технологий искусственного интеллекта.

2.5 Выводы по главе 2

В данной главе предложена модификация алгоритма сегментации для повышения точности выделения областей, содержащих информацию о строениях. В качестве дополнения существующего алгоритма было предложено выделение наиболее темных областей изображения, исходя из предположения, что они относятся к отбрасываемым объектами теням. Так же производится выделение наиболее ярких областей для дополнения результирующей сегментации.

Далее был рассмотрен обзор библиотек компьютерного зрения и подобрана наиболее подходящая для создания программной реализации алгоритма. Для реализации методов компьютерного зрения решено использовать библиотеку OpenCV, так как она предоставляет наиболее широкий спектр методов компьютерного зрения. Так же к достоинствам данной библиотеки можно отнести высокую относительно других библиотек производительность и наличие хорошей документации.

После были рассмотрены основные этапы программной реализации алгоритма с приведением промежуточных результатов работы. Результатом работы программного модуля является вывод информации об обнаруженных областях, содержащих информацию о строениях в удобном для зрительного восприятия виде.

Также были рассмотрены результаты апробации алгоритма. При условии подбора индивидуальных настроек пороговых значений для каждого спутникового снимка, фрагменты которого анализируются, точность работы алгоритма составила 69,76 % при полноте работы в 79,31 %. Также рассмотрены перспективы доработки и использования алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная бакалаврская работа была направлена на разработку программного модуля для автоматического обнаружения строений на космических снимках.

В процессе выполнения бакалаврской работы были решены следующие задачи:

- анализ постановки задачи и методов ее решения;
- подбор и доработка алгоритма выделения строений на изображениях;
- разработка программной реализации;
- апробация программной реализации и сбор экспериментальных данных.

Результатом данной работы является анализ поставленной перед программным модулем задачи, обзор существующих подходов и алгоритмов к решению задачи обнаружения строений на космических снимках, доработанный и реализованный алгоритм, показывающий среднюю точность работы 69,76 % при полноте работы в 79,31 %.

Задача, поставленная перед программным модулем — обнаружение незаконной застройки на землях сельскохозяйственного назначения. Рассмотрено определение задачи обнаружения строения в общем случае и с учетом специфики решаемой задачи.

Был произведен обзор существующих подходов к решению данной задачи. Наиболее реалистичным для решения данной задачи в условиях Системы агромониторинга ИКИТ СФУ является подход к обнаружению строений на одинарном спутниковом изображении высокого разрешения.

В ходе обзора литературы, был найден алгоритм, наиболее подходящий для решения задачи с учетом ее специфики и в рамках бакалаврской работы. Было предложена модификация для данного алгоритма, целью которого является повышение его точности и вывода результатов его работы.

Полученный алгоритм был реализован и опробован на экспериментальной выборке. В ходе апробации алгоритма выявлены его сильные и слабые стороны, рассмотрены перспективы для его дальнейшей доработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БПЛА — Беспилотный летательный аппарат;

ЦММ — Цифровая модель местности, описывающая форму земной поверхности;

ЦМР — Цифровая модель рельефа, часть ЦММ;

RGB — Модель представления цвета пикселя, хранящая информацию о значениях красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) каналов;

HSV — Модель представления цвета пикселя, хранящая информацию о значениях его цвета (Hue), насыщенности (Saturation) и яркости (Value);

Lab — Модель представления цвета пикселя, хранящая информацию о значениях его светлоты (Lightness), распределения от зеленого до красного (a) и распределения от синего до желтого (b).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Новотворцев, Л. В. Автоматическое распознавание зданий на аэрофотоснимках / Л. В. Новотворцев, А. Г. Волобой // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2016) : статья в сборнике трудов конференции / ООО «Аналитик» – Москва, 2016. – С. 69–72.
- 2 Sohn, G. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LIDAR data for automatic building extraction / G. Sohn, I. Dowman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. – № 62(1). – С. 43–63.
- 3 Automatic building extraction from LiDAR data fusion of point and grid-based features / S. Du, Y. Zhang, Z. Zou, S. Xu, X. He, S. Chen // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017. – № 130. – С. 294–307.
- 4 Ghaffarian, S. Automatic building detection based on supervised classification using high resolution Google Earth images / S. Ghaffarian, S. Ghaffarian // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – Zurich, Switzerland, 2014. – № 40(3). – С. 101–106.
- 5 Jin, X. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information / X. Jin, C. H. Davis // EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005. – № 14. – С. 2196–2206.
- 6 Ok, A. O. Automated Extraction of Buildings and Roads in a Graph Partitioning Framework / A. O. Ok // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – Antalya, Turkey, 2013. - № II-3/W3. – С. 79–84.
- 7 Singhal, S. Automatic Detection of Buildings from Aerial Images Using Color Invariant Features and Canny Edge Detection / S. Singhal, S. Radhika // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – 2014. – № 11(8). – С. 393–396.

- 8 Canny, J. A computational approach to edge detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – 1986. – № 6. – С. 679–698.
- 9 Hough, P. Method and Means for Recognizing Complex Patterns / P. Hough // Patent № 3069654 U.S. – 18.12.1962.
- 10 Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans on SMC – 1979. – № 9. – С. 62–66.
- 11 Математическая морфология [Электронный ресурс] : Коллективный блог «Хабрахабр» – Режим доступа : <https://habr.com/post/113626/>
- 12 Артемов А.А. Проблема поиска объектов на изображении с помощью компьютерного зрения на основе информации о цвете / А. А. Артемов, М. В. Кавалеров, Г. С. Кузнецов // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления / Пермский нац. исследовательский политехнический ун-т – Пермь, 2011. – № 5. – С. 70–79.
- 13 Компьютерное зрение : учеб. пособие / Л. Шапиро, Стокман Дж. ; ред. С. М. Соколов, пер. Богуславский А.А. – Москва : Математика, 2013. – 752 с.
- 14 Компьютерное зрение. Современный подход : пер. с англ. / Д. Форсайт, Ж. Понс. – Санкт-Петербург ; Киев : Вильямс, 2004. – 926 с.
- 15 Булатников, Е. В. Сравнение библиотек компьютерного зрения для применения в приложении, использующем технологию распознавания плоских изображений / Е. В. Булатников, А. А. Гоева // Вестник МГУП им. Ивана Федорова / Моск. гос. ун-т печати им. Ивана Федорова — Москва, 2015. – № 6. – С. 85–91.
- 16 Шиrafoков, И. А. Современные библиотеки компьютерного зрения / И. А. Шиrafoков, А. В. Щелканов // Информационные технологии в науке и производстве : статья в сборнике трудов конференции / Омский гос. технологический ун-т – Омск, 2015. – С. 196–201.
- 17 Installing on Windows [Электронный ресурс] : Anaconda: Documentation – Режим доступа : <https://docs.anaconda.com/anaconda/install/windows>

18 Козлов, В. Н. Геометрический подход к распознаванию зрительных образов (краткий обзор) / В. Н. Козлов // Интеллектуальные системы — Москва, 2013. — Т.17, № 1-4. — С. 49–55.

19 Бирюков, Е. Д. Способы выделения объекта при компьютерном распознавании статических зрительных образов / Е. Д. Бирюков, С. Ю. Иванов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах / Моск. ин-т электроники и математики НИУ ВШЭ – Москва, 2010. — № 13. — С. 163–168.

20 OpenCV 3.0.0-dev documentation [Электронный ресурс] : / – Режим доступа : <https://docs.opencv.org/3.0-beta/index.html>

21 HSV (цветовая модель) [Электронный ресурс] : Свободная энциклопедия «Википедия» – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/HSV_\(цветовая_модель\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/HSV_(цветовая_модель))

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Отчет системы «Антиплагиат»

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

660049, Красноярск, пр. Свободный, 79/10, тел. (3912) 2-912-820, факс (3912) 2-912-773
E-mail: bik@sfu-kras.ru

ОТЧЕТ

о результатах проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ»

Автор: Удод Антон Владимирович

Заглавие: Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых снимках

Вид документа: Выпускная квалификационная работа бакалавра

По результатам проверки оригинальный текст составляет 96,13%

Рисунок А.1 — Отчет системы «Антиплагиат»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Плакаты презентации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

Бакалаврская работа

Программный модуль для автоматического поиска строений на спутниковых снимках

Научный руководитель: проф. канд. техн. наук

Ю.А. Маглинец

Выполнил:

студент КИ14-11Б

А.В. Удод

Красноярск 2018

Рисунок Б.1 — Плакат презентации № 1

Цель работы:

Разработка программного модуля для автоматической локализации областей на фрагментах спутниковых снимков, содержащих информацию о строениях

Задачи:

- Анализ постановки задачи и методов ее решения,
- Подбор алгоритма выделения построек на изображениях,
- Программная реализация,
- Проведение экспериментальных исследований.

2

Рисунок Б.2 — Плакат презентации № 2

Актуальность

Основные области применения:

- мониторинг динамики роста населенных пунктов,
- поиск несанкционированной застройки

Запрос министерства сельского хозяйства Красноярского края на решение задачи обнаружение несанкционированной застройки земель сельскохозяйственного назначения.

3

Рисунок Б.3 — Плакат презентации № 3

Основные подходы к решению задачи

- На основе использования данных, полученных специальными методами (LiDAR)
- На основе использования ЦММ и ЦМР
- На основе использования одиночного изображения

4

Рисунок Б.4 — Плакат презентации № 4

Общие признаки строения на спутниковом снимке

- Наличие одной (или нескольких) смежных областей - теней
- Линейная форма области-строения
- Однородность спектральных характеристик области-строения.
- Ограничения на площади области-строения и области-тени



5

Рисунок Б.5 — Плакат презентации № 5

Признаки, характерные для решаемой задачи

К признакам, характерным для незаконной застройки на ЗСХН можно отнести:

- Разреженность застройки
- Преобладание растительного фона



6

Рисунок Б.6 — Плакат презентации № 6

Типы анализируемой информации

- Спектральная
- Структурная
- Контекстная



7

Рисунок Б.7 — Плакат презентации № 7

Подобранный алгоритм

Shraddha Singhal , Sudha Radhika

Automatic Detection of Buildings from Aerial Images Using
Color Invariant Features and Canny Edge Detection

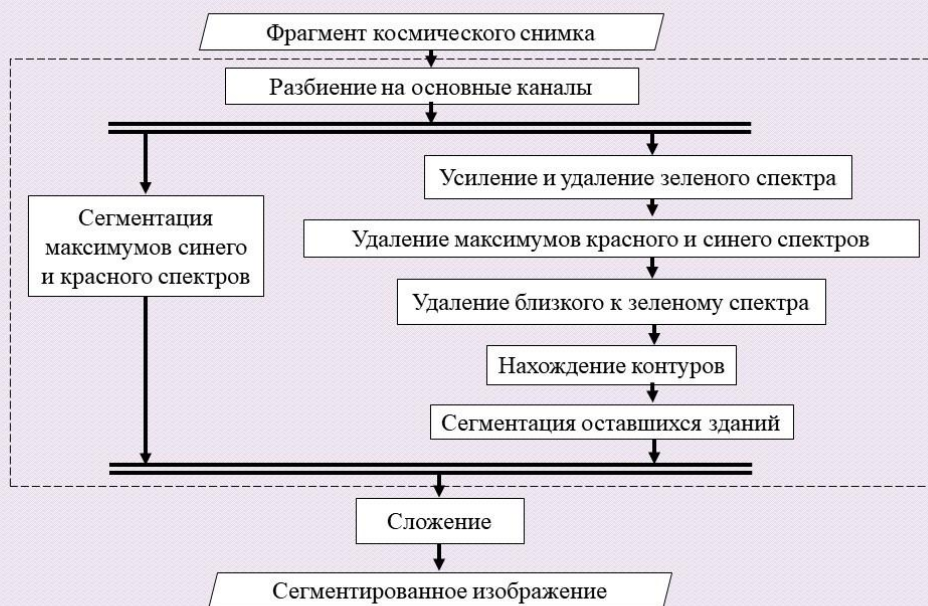
Формула цветового инварианта

$$\varphi_R = \frac{4}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{R - G}{R + G} \right) ,$$

8

Рисунок Б.8 — Плакат презентации № 8

Базовый алгоритм



9

Рисунок Б.9 — Плакат презентации № 9

Недостатки алгоритма

- Не учитывается информация о примыкании теней
- Не учитывается информация о площади



10

Рисунок Б.10 — Плакат презентации № 10

Дополненный алгоритм



11

Рисунок Б.11 — Плакат презентации № 11

Разработка программного модуля



12

Рисунок Б.12 — Плакат презентации № 12

Апробация алгоритма

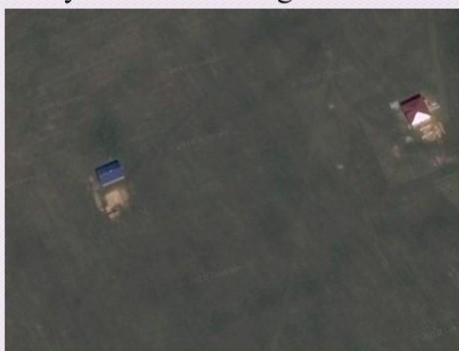


13

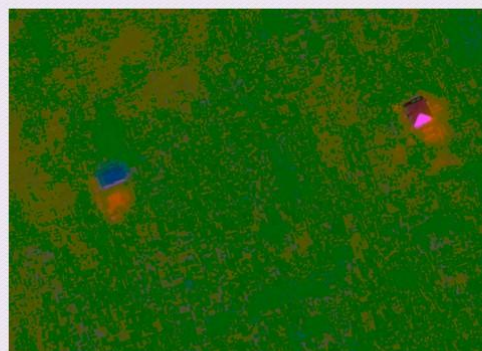
Рисунок Б.13 — Плакат презентации № 13

Демонстрация работы алгоритма

Исходное изображение,
полученное из Google Earth



Распределение спектральных
признаков



14

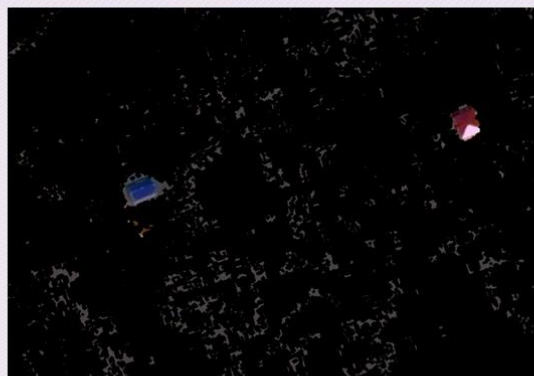
Рисунок Б.14 — Плакат презентации № 14

Демонстрация работы алгоритма

Пороговая бинаризация
инвариантов красного канала



Выделение максимумов красного
и синего спектров

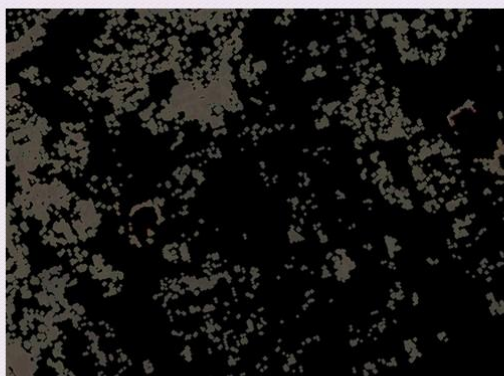


15

Рисунок Б.15 — Плакат презентации № 15

Демонстрация работы алгоритма

Выделение фона, отличного от
зеленого цвета



Выделение затенений



16

Рисунок Б.16 — Плакат презентации № 16

Демонстрация работы алгоритма

Выделение признаков областей



Заключение о нахождении строений



17

Рисунок Б.17 — Плакат презентации № 17

Выводы

- Уточнена постановка задачи, проведен анализ используемых методов ее решения
- Произведен анализ литературы, подобран и дополнен алгоритм сегментации
- Осуществлена его программная реализация;
- Апробация произведена на тестовых изображениях и изображениях, полученных в Google Earth

Планируется доработка и внедрение модуля в систему агромониторинга ИКИТ СФУ

18

Рисунок Б.18 — Плакат презентации № 18